

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

**Rekonstrukce hnacího kola housenicového pásu**

**Reconstruction of a Driving Gear for a Caterpillar Belt**

Student:

Aleš Zahradník

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D.

Ostrava 2013

## Zadání bakalářské práce

Student: **Aleš Zahradník**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení  
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin  
Téma: **Rekonstrukce hnacího kola housenicového pásu**  
**Reconstruction of a Driving Gear for a Caterpillar Belt**

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte a vypracujte výrobní dokumentaci rekonstrukce hnacího kola pásového podvozku včetně housenicového pásu. Housenicový podvozek je použit na malém bagru. Uvažujte možné výměny opotřebovaného ozubeného věnce. Nakreslete dílenské výkresy všech částí housenicového pásu a sestavu ozubeného kola.

### Seznam doporučené odborné literatury:

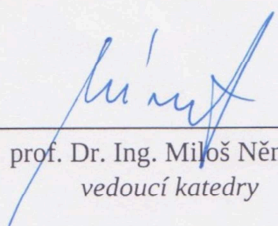
BOLEK, A., KOCHMAN, J. AKOL. *Části strojů I*. Praha: SNTL, 1989. 776s. ISBN 80-03-0046-7.  
KALÁB K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 91s. ISBN 978-80-248-1290-8.  
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 72 s. ISBN 978-80-248-0878-9.  
SHIGLEY, J., E., MISCHKE CH., R., BUDYNAS R., G. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTUM, 2010. 1186 s. ISBN 978-80-214-2629-0.  
Vhodné katalogy.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

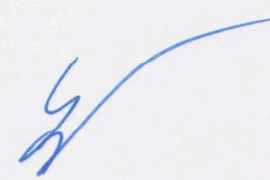
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

  
prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

Aleš Zahradník

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Aleš Zahradník

Adresa trvalého pobytu autora práce: Erbenova 805, Třinec, 73 961



## **Poděkování**

Děkuji v první řadě mým rodičům za podporu při studiu. A za cenné rady k tématu, bez nichž bych se při tvorbě této bakalářské práce neobešel, patří mé velké díky vedoucímu práce Doc. Ing. Květoslavu Kalábovi, Ph.D.

## ANOTACE

ZAHRADNÍK, Aleš. *Rekonstrukce hnacího kola housenicového pásu: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2013, 41 s. Vedoucí práce: Kaláb, Květoslav.

Bakalářská práce se zabývá návrhem výrobní dokumentace rekonstrukce hnacího kola pásového podvozku. V úvodu jsou prezentovány aplikace, kde se housenicové pásy mohou vyskytnout a průzkum firem, které se zabývají touto problematikou. Dále je rozebráno opotřebení částí housenicového pásu včetně kola. Ve čtvrté kapitole je zpracováno měření rozměrů a jsou zde navrženy rozměry nového řešení ozubení. Následuje důležitá kapitola řešící samotnou rekonstrukci kola. V předposlední kapitole práce jsou zkontrolovány navržené šrouby a kolíky a v samotném závěru jsou shrnuty výhody nového řešení oproti stávajícímu. Práce je doplněna výkresovou dokumentací.

## ANNOTATION

ZAHRADNÍK, Aleš. *Reconstruction of a Driving Gear for a Caterpillar Belt: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2013, 41 p. Thesis Head: Kaláb, K.

This thesis deals with manufacturing documentation for the reconstruction of the drive wheel track frame. In the introduction, are presented applications where the caterpillar belts may occur and exploration companies that deal with this issue. Below is dismantled wear parts housenicového belt including wheels. The fourth chapter presents measurements and dimensions are proposed size of the new solution gearing. The following is an important chapter dealing with the reconstruction of wheels. In the penultimate chapter, are checked designed screws and pins and The conclusion summarizes the advantages of the new solution to the existing. The work is accompanied by drawings.

## Obsah

Seznam použitých značek, symbolů a jejich jednotky .....	8
1 Úvod .....	10
2 Problematika bakalářské práce .....	11
2. 1 Využití housenicových pásů .....	11
2. 2 Průzkum trhu .....	12
2. 3 Komponenty podvozku .....	12
3 Řešené hnací kolo .....	15
3. 1 Původní řešení .....	15
3. 2 Rozbor opotřebení .....	17
4 Návrh ozubení .....	19
4.1 Zjištění rozteče kola .....	19
4. 2 Výpočet rozměrů hnacího kola .....	22
5 Rekonstrukce kola .....	26
5. 1 Postup rekonstrukce .....	26
5. 2 Výsledek rekonstrukce .....	29
6 Výpočty .....	31
6. 1 Kontrola šroubů .....	31
6. 2 Kontrola kolíků .....	36
7 Závěr .....	38
Literatura .....	39
Přílohy .....	41

## Seznam použitých značek, symbolů a jejich jednotky

Značka	Popis	Jednotka
$d$	Průměr roztečné kružnice	[mm]
$d_{11}$	Průměr čepu	[mm]
$d_{12}$	Průměr pouzdra	[mm]
$d_a$	Průměr hlavové kružnice	[mm]
$d_f$	Průměr patní kružnice	[mm]
$d_k$	Průměr kolíku	[mm]
$D_S$	Průměr roztečné kružnice šroubů	[mm]
$f$	Součinitel smykového tření	[-]
$f_z$	Součinitel smykového tření na závitu	[-]
$F_0$	Předejzatá síla	[N]
$F_{OBV}$	Obvodová síla na jeden šroub	[N]
$F'_{OBV}$	Celková obvodová síla	[N]
$F_T$	Třecí síla	[N]
$i_k$	Počet kolíků	[ks]
$i_s$	Počet šroubů	[ks]
$K$	Charakteristický rozměr článku	[mm]
$k$	Bezpečnost proti prokluzu	[-]
$k_s$	Součinitel bezpečnosti šroubu	[-]
$M_K$	Krouticí moment	[N·m]

$n$	Maximální otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
$r_i$	Poloměr dna zubní mezery	$[\text{mm}]$
$r_e$	Poloměr boku zubu	$[\text{mm}]$
$t$	Rozteč článku housenicového pásu	$[\text{mm}]$
$P$	Rozteč hnacího kola	$[\text{mm}]$
$p_D$	Dovolené napětí na otlacení	$[\text{MPa}]$
$P_p$	Hydraulický výkon pojezdu max.	$[\text{kW}]$
$P_{p1}$	Hydraulický výkon na jednu stranu pojezdu	$[\text{kW}]$
$R_e$	Mez kluzu	$[\text{MPa}]$
$R_m$	Mez pevnosti	$[\text{MPa}]$
$z$	Počet zubů	$[-]$
$\alpha_o$	Úhel otevření	$[\circ]$
$\sigma_\tau$	Napětí v tahu	$[\text{MPa}]$
$\tau$	Napětí v krutu	$[\text{MPa}]$
$\tau_{DS}$	Dovolené napětí na stříh	$[\text{MPa}]$
$\varphi'$	Třecí úhel	$[\circ]$
$\psi$	Úhel stoupání závitu	$[\circ]$

## 1 Úvod

Cílem bakalářské práce je navrhnout a vypracovat výrobní dokumentaci rekonstrukce hnacího kola housenicového pásu. Podvozek, na němž je housenicový pás použit, je umístěn na minirýpadle DH 0411, které bylo vyrobeno v 90. letech minulého století slovenskou firmou ZTS-OTS, a.s., Dubnica nad Váhom. Jak ozubené kolo, tak čepy s pouzdry pásu jsou značně opotřebené. Při návrhu rekonstrukce je uvažováno s možnou výměnou opotřebovaného ozubeného věnce.

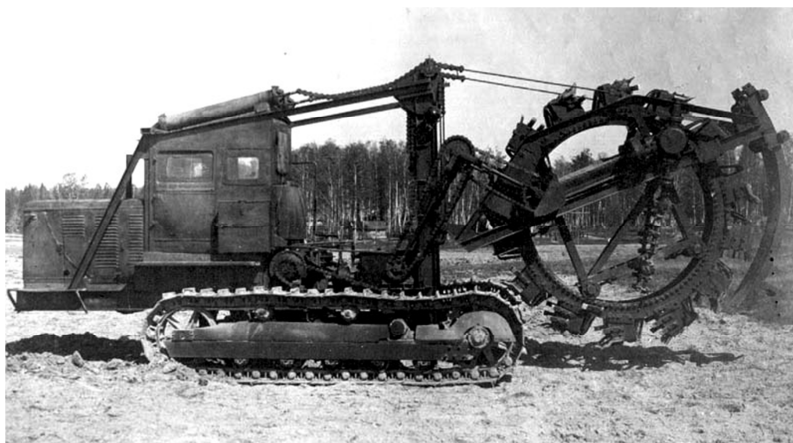


## 2 Problematika bakalářské práce

V této kapitole jsou zmíněny aplikace, kde se s housenicovými pásy můžeme setkat a dále dosavadní řešení od různých světových výrobců pásových podvozků.

### 2.1 Využití housenicových pásů

Housenicové pásy jsou nejčastěji používány u podvozků velkých průmyslových strojů, jako jsou silniční frézy, zemědělské stroje, ve stavebnictví u malých i velkých bagrů, a téměř u všech kolesových rypadel pro těžbu uhlí a jiných surovin (obr. 2.1). Avšak ne jenom tam. Housenicový pás se dá použít i jako jistý druh dopravního systému např. v hornictví (obr. 2. 2). A v neposlední řadě ve vojenství u podvozků tanků.



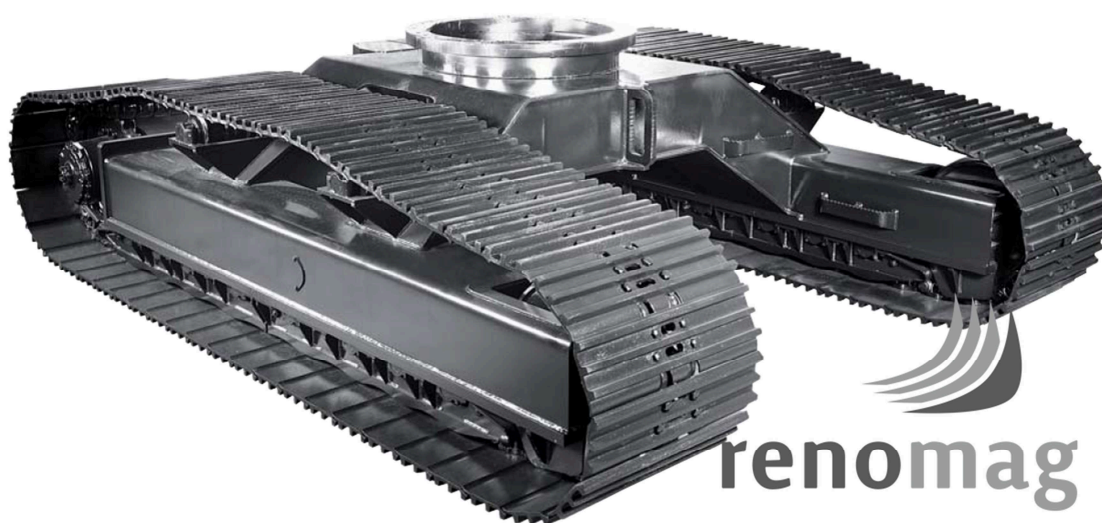
Obr 2. 1 Historické kolesové rypadlo *KG-65* [10]



Obr 2. 2 Použití housenicového pásů jakožto dopravního systému [11]

## 2. 2 Průzkum trhu

Firmy zabývající se housenicovými podvozky, dodávají jak kompletní podvozky, tak jednotlivé díly. Nejvýznamnějšími výrobci podvozků a jejich komponentů na světě jsou například italská firma Berco, kterou v České Republice zastupuje firma EVROPS a.s. se sídlem v Ústí nad Labem, dále německá firma Titan Intertractor, tato firma je považována za jedničku v oblasti navrhování a výroby podvozkových komponentů, jakož i kompletního řešení podvozků (obr. 2.3), její produkty v České Republice distribuuje firma RENOMAG spol. s r.o.



Obr. 2. 3 Kompletní podvozek firmy Intertractor [8]

## 2. 3 Komponenty podvozku

- Celý podvozek je tvořen jednotlivými díly, a to těmito:
  - Řetězy pro stroje na pásovém podvozku



Obr. 2. 4 Řetěz firmy Titan Intertractor [9]

- Pojezdové a nosné kladky

Firma Titan Intertractor dodává kladky tepelně zpracované diferenciatním kalením pro dosažení vysoké odolnosti a životnosti.



Obr. 2. 5 Pojezdová kladka [9]

- Desky pásů

Vyrábí se v provedení jednoduché (obr. 2. 6), dvojité (obr. 2. 7) a trojitě (obr. 2. 8). Speciální legované oceli a správné tepelné zpracování, zajišťují vysokou pevnost v ohybu a vysoké odolnosti proti opotřebení při jakémkoliv používání.



Obr. 2. 6 [7]



Obr. 2. 7 [7]



Obr. 2. 8 [7]

- Hnací kola a věnce hnacích kol

Přesně kovaná hnací kola a hnací kola upevněná šrouby jsou uzpůsobena pro perfektní montáž a eliminují riziko špatného vyrovnaní a uvolnění. Efektivní hloubka kalení se promítá ve vynikající odolnosti proti opotřebení a delší životnosti.



Obr. 2. 9 Hnací kola a věnce k našroubování [7]

- Vodící kola i s napínací jednotkou

Vyrábí se litím, kováním a obráběním dále jsou speciálně tepelně zpracované pro zajištění delší životnosti.



Obr. 2. 10 Vodící kolo s napínací jednotkou [8]



### 3 Řešené hnací kolo

Řešené hnací kolo housenicového pásu je použito na podvozku minirýpadla typu DH 0411 (obr. 3. 1), vyrobeného v 90. letech 20. století slovenskou firmou ZTS-OTS, a.s., Dubnica nad Váhom [12]. Stroj se skládá z pracovního zařízení, otočného svršku a podvozku.



Obr. 3. 1 Minirýpadlo DH 0411

#### 3.1 Původní řešení

Hnací kolo je řešeno jako odlitek (obr 3. 2 a 3. 3). Toto řešení není příliš ekonomické, poněvadž když se zuby opotřebují, nebo se kolo jiným způsobem poškodí, je potřeba odlévat kolo nové anebo koupit kolo od výrobce. A protože řešené kolo je značně opotřeбенé, což má za důsledek přeskakování housenicového pásu, bude ozubení nahrazeno vyměnitelným věncem, jehož rozměry, uchycení a celkové provedení bude dopodrobna vyřešeno ve 4. respektive 5. kapitole.



Obr. 3. 2 Hnací kolo



Obr. 3. 3 Hnací kolo ze strany s žebry

Na fotografiích 3. 2 a 3. 3 je možno vidět současné řešení odlévaného hnacího kola. Lze pozorovat značné opotřebení zubů (rozběr opotřebení je rozebrán v kapitole 3. 2). Dále je vidět, že je kolo z jedné strany opatřeno čtyřmi žebry, a také čtyřmi dírami pro odlehčení a úsporu materiálu. Točivý moment je přenášen evolventním drážkováním.

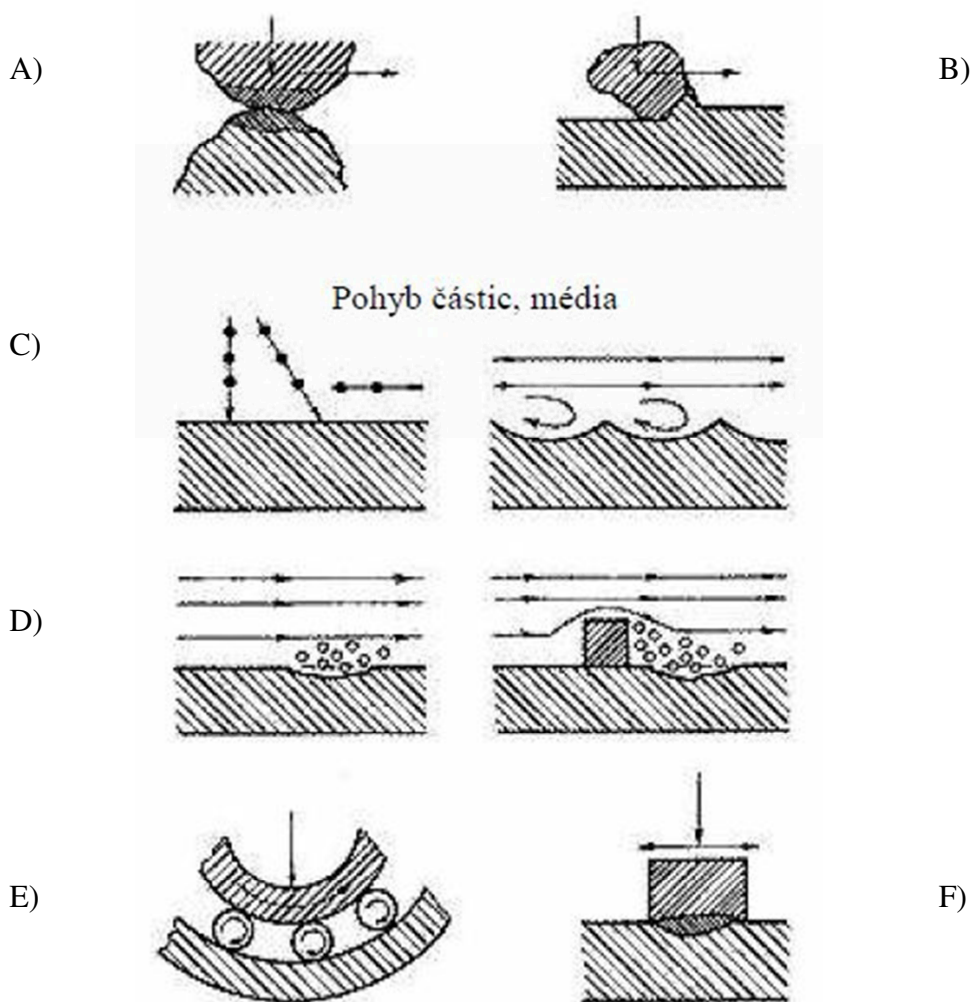


### 3. 2 Rozbor opotřebení

Opotřebení je nežádoucí změna povrchu, rozměrů nebo vlastností tuhých těles, způsobená vzájemným působením funkčních povrchů nebo povrchu a média, které opotřebení vyvolává.

Dle ČSN 01 5050 „Opotřebení materiálu. Názvosloví.“ rozdělujeme opotřebení na 6 základních druhů:

- adhezivní (A)
- abrazivní (B)
- erozivní (C)
- kavitační (D)
- únavové (E)
- vibrační (F)



Obr. 3. 4 Schématické znázornění druhů opotřebení [13]

Na obrázku 3. 5 je zachycena zubní mezeru, jedná se o nejopotřebovanější mezeru ze všech na celém kole. Můžeme zde vidět adhezivní a únavové opotřebení.



Obr. 3. 5 Opotřebení povrchu kola

Na obrázku 3. 6 je zachyceno pouzdro, které přichází do styku s hnacím kolem, konkrétní pouzdro je opotřebeno pouze z jedné strany, čehož příčinou je, že se pouzdro neotáčelo. Z pouzder čepů, které byly k dispozici, je takto opotřebena většina, úbytek materiálu je enormní. Lze pozorovat opotřebení adhezivní, abrazivní a únavové.



Obr. 3. 6 Opotřebení pouzdra čepu

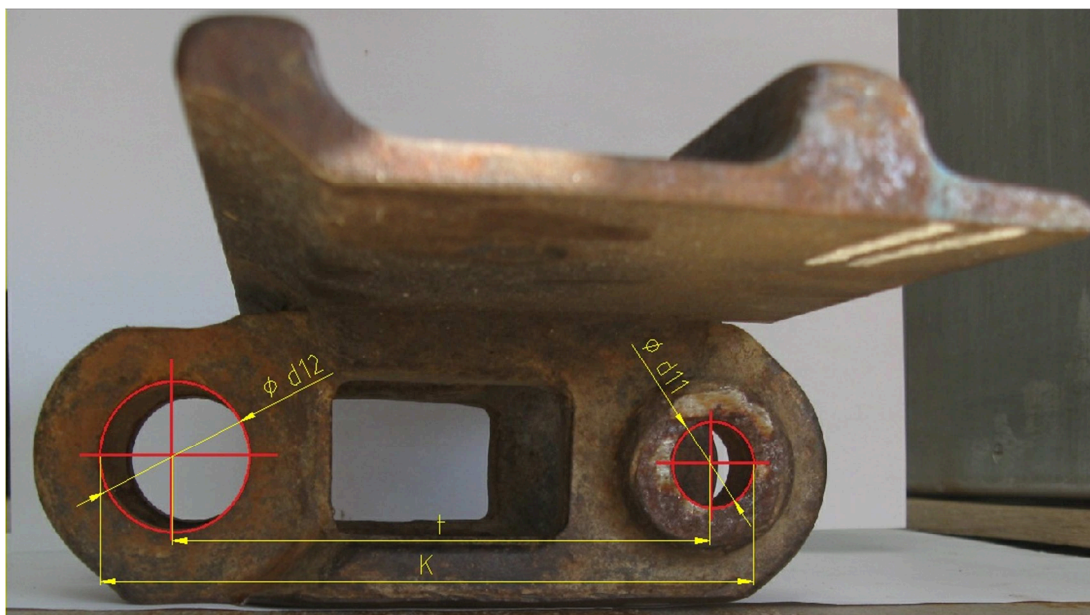
## 4 Návrh ozubení

*„Účelný a správný profil zubu i zubní mezery, je výsledkem dlouholetých zkušeností a studií pohybu řetězu na řetězovém kole. Správně volený tvar zubu a zubní mezery zajišťuje maximální využití řetězu, má vliv na jeho životnost i životnost celého převodu.“ [2].* Ač je citováno z knihy zabývající se válečkovými řetězy a řetězovými koly, můžeme si dovolit vztáhnout citaci i na housenický pás, protože se jedná o totožný princip.

Jako první je nutné zjistit rozteč hnacího kola. Z toho dále spočítat prostřednictvím normy pro výpočet řetězových kol [1] všechny rozměry hnacího kola, tyto poslouží jako doporučené hodnoty při návrhu ozubeného věnce.

### 4.1 Zjištění rozteče kola

Zjištění rozteče hnacího kola je nutné k dalšímu návrhu tvaru zubů a taky všech průměrů hnacího kola. Je nutné si uvědomit, že článek housenicového pásu má rozteč dvojnásobnou nežli kolo, tedy zabírá v každé druhé zubní mezeře, lichý počet zubů potom zajišťuje rovnoměrné opotřebení všech zubů.



Obr. 4. 1 Deska housenicového pásu

Na obrázku 4.1 je vyfocen článek housenicového pásu, a zakótovány rozměry, které je potřeba změřit respektive vypočítat.



Obr. 4. 2 Pouzdro čepu



Obr. 4. 3 Čep housenicového pásu

Do díry o rozměru d12 je vloženo pouzdro z obr. 4.2, na tomto dutém pouzdře jde vidět velké opotřebení od přímého styku se zuby hnacího kola, tenkou červenou čarou je pak znázorněn původní tvar hladkého pouzdra. Dírou o rozměru d11 prochází čep vyfocen na obr. 4. 3. Tento komplet (deska, dva pouzdra, dva čepy) tvoří jeden článek pomyslného řetězu.

Postup určení rozteče.

- Měření rozměru K (Obr 4. 1) na desce housenicového pásu.
- Měření rozměrů d11 a d12 (Obr. 4. 1)
- Zpracování měření
- Výpočet rozteče článku
- Určení rozteče hnacího kola

Tab. 4. 1 - Naměřené hodnoty rozměru K

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K[mm]	126,2	126,25	125	125,2	125	125,15	125	125,05	125,1	125

Aritmetický průměr hodnot rozměru K

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8 + K_9 + K_{10}}{n}$$

$$K = \frac{126,2 + 126,25 + 125 + 125,2 + 125 + 125,15 + 125 + 125,05 + 125,1 + 125}{10}$$

$$K = 125,295 \text{ mm}$$

Tab. 4. 2 - Naměřené hodnoty rozměru d11

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d11[mm]	16,9	16,65	16,8	16,85	16,75	16,8	16,75	16,65	16,7	16,7

- Aritmetický průměr hodnot rozměru d11

$$d11 = \frac{d11_1 + d11_2 + d11_3 + d11_4 + d11_5 + d11_6 + d11_7 + d11_8 + d11_9 + d11_{10}}{n}$$

$$d11 = \frac{16,9 + 16,65 + 16,8 + 16,85 + 16,75 + 16,8 + 16,75 + 16,65 + 16,7 + 16,7}{10}$$

$$\underline{d11 = 16,755 \text{ mm}}$$

Tab. 4. 3 - Naměřené hodnoty rozměru d12

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d12[mm]	28,05	28	28	28,1	28,05	28,1	28,1	28,05	28,1	28

- Aritmetický průměr hodnot rozměru d12

$$d12 = \frac{d12_1 + d12_2 + d12_3 + d12_4 + d12_5 + d12_6 + d12_7 + d12_8 + d12_9 + d12_{10}}{n}$$

$$d12 = \frac{28,05 + 28 + 28 + 28,1 + 28,05 + 28,1 + 28,1 + 28,05 + 28,1 + 28}{10}$$

$$\underline{d12 = 28,055 \text{ mm}}$$

- Výpočet rozteče článku housenicového pásu

$$t = K - \left( \frac{d11}{2} + \frac{d12}{2} \right) \quad [4.1.1]$$

$$t = 125,295 - \left( \frac{16,755}{2} + \frac{28,055}{2} \right)$$

$$\underline{t = 102,89 \text{ mm}}$$



- Výpočet rozteče hnacího kola

$$P = \frac{t}{2} \quad [4.1.2]$$

$$P = \frac{102,89}{2}$$

$$P = 51,445 \text{ mm}$$

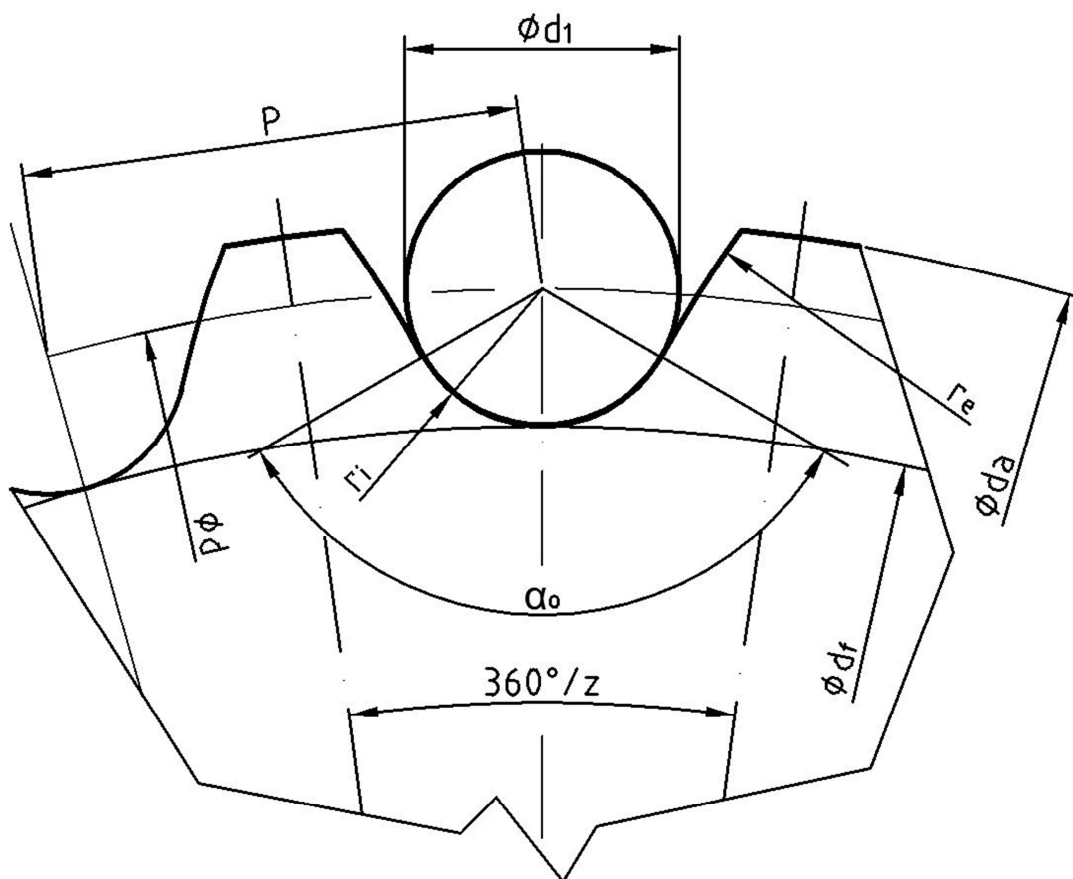
#### 4.2 Výpočet rozměrů hnacího kola

Pro výpočet rozměrů hnacího kola vhodně poslouží norma ČSN 01 4811 pro řetězová kola pro hnací válečkové a pouzdrové řetězy [1].

-Vstupními údaji jsou:

Rozteč  $P = 51,445 \text{ mm}$

Počet zubů  $z = 23$



Obr. 4. 4 Základní rozměry hnacího kola



- Výpočet průměru roztečné kružnice

$$d = \frac{P}{\sin \frac{180^\circ}{z}} \quad [4.2.1]$$

$$d = \frac{51,445}{\sin \frac{180^\circ}{23}}$$

$$\underline{d = 377,8 \text{ mm}}$$

- Výpočet poloměru dna zubní mezery, pro mezeru s nejmenší šířkou

$$r_{i \min} = 0,505 \cdot d_1 \quad [4.2.2]$$

V normě označený průměr  $d_1$  je výše uvedený a měřený průměr  $d_{12}=28,055$

$$r_{i \min} = 0,505 \cdot 28,055$$

$$\underline{r_{i \min} = 14,168 \text{ mm}}$$

- Výpočet poloměru dna zubní mezery, pro mezeru s největší šířkou

$$r_{i \max} = 0,505 \cdot d_1 + 0,069 \sqrt[3]{d_1} \quad [4.2.3]$$

$$r_{i \max} = 0,505 \cdot 28,055 + 0,069 \sqrt[3]{28,055}$$

$$\underline{r_{i \max} = 14,377 \text{ mm}}$$

- Výpočet poloměru boku zubu, pro mezeru s nejmenší šířkou

$$r_{e \min} = 0,12 \cdot d_1 \cdot (z + 2) \quad [4.2.4]$$

$$r_{e \min} = 0,12 \cdot 28,055 \cdot (23 + 2)$$

$$\underline{r_{e \min} = 84,165 \text{ mm}}$$

- Výpočet poloměru boku zubu, pro mezeru s největší šířkou

$$r_{e \max} = 0,008 \cdot d_1 \cdot (z^2 + 180) \quad [4.2.5]$$

$$r_{e \max} = 0,008 \cdot 28,055 \cdot (23^2 + 180)$$

$$\underline{r_{e \max} = 159,128}$$

- Výpočet úhlu otevření

$$\alpha_{o \max} = 140^\circ - \frac{90^\circ}{z} \quad [4.2.6]$$

$$\alpha_{o \max} = 140^\circ - \frac{90^\circ}{23}$$

$$\underline{\alpha_{o \max} = 136,1^\circ}$$

$$\alpha_{o \min} = 120^\circ - \frac{90^\circ}{z} \quad [4.2.7]$$

$$\alpha_{o \min} = 120^\circ - \frac{90^\circ}{23}$$

$$\underline{\alpha_{o \min} = 116,1^\circ}$$

- Výpočet průměru patní kružnice

$$d_f = d - 2 \cdot r_i \quad [4.2.8]$$

$$d_f = 377,8 - 2 \cdot 14,2$$

$$\underline{d_f = 349,4 \text{ mm}}$$

- Výpočet průměru hlavové kružnice

$$d_{a\ min} = d + 0,5 \cdot d_1 \quad [4.2.9]$$

$$d_{a\ min} = 377,8 + 0,5 \cdot 28,055$$

$$\underline{d_{a\ min} = 391,838\ mm}$$

$$d_{a\ max} = d + 1,25 \cdot P - d_1 \quad [4.2.10]$$

$$d_{a\ max} = 377,8 + 1,25 \cdot 51,445 - 28,055$$

$$\underline{d_{a\ max} = 414,051\ mm}$$

Tab. 4. 4 – Hodnoty použité pro výkres

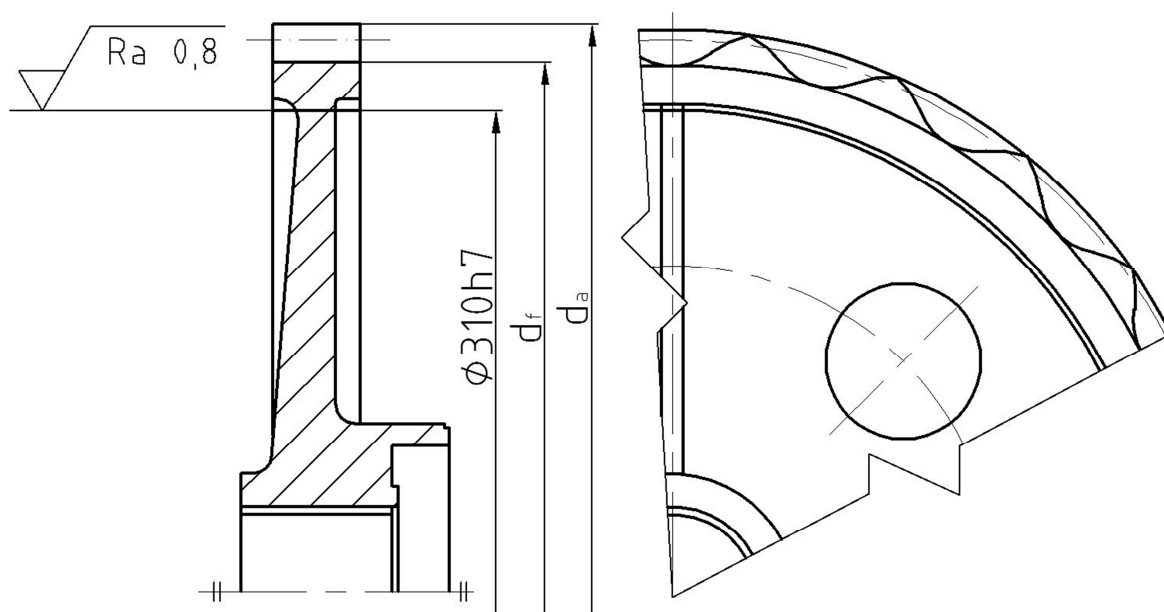
Značení	d	d <sub>a</sub>	d <sub>f</sub>	r <sub>i</sub>	r <sub>e</sub>	α <sub>o</sub>
Hodnota	377,8 mm	392 mm	349,4 mm	14,2 mm	100 mm	120°

## 5 Rekonstrukce kola

V této kapitole je řešeno konstrukční provedení nového řešení hnacího kola, tedy odstranění stávajícího ozubení, rozměry a uchycení věnce na obrobený odlitek.

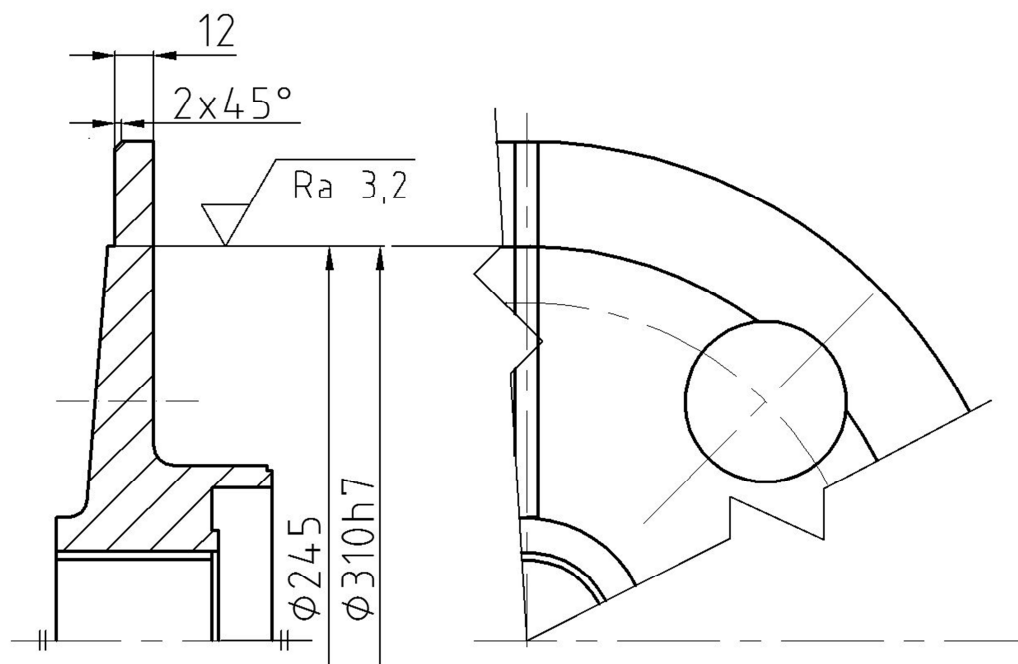
### 5.1 Postup rekonstrukce

Prvním krokem rekonstrukce je upíchnutí stávajícího, opotřebovaného ozubení na průměru 310 mm (obr. 5.1).



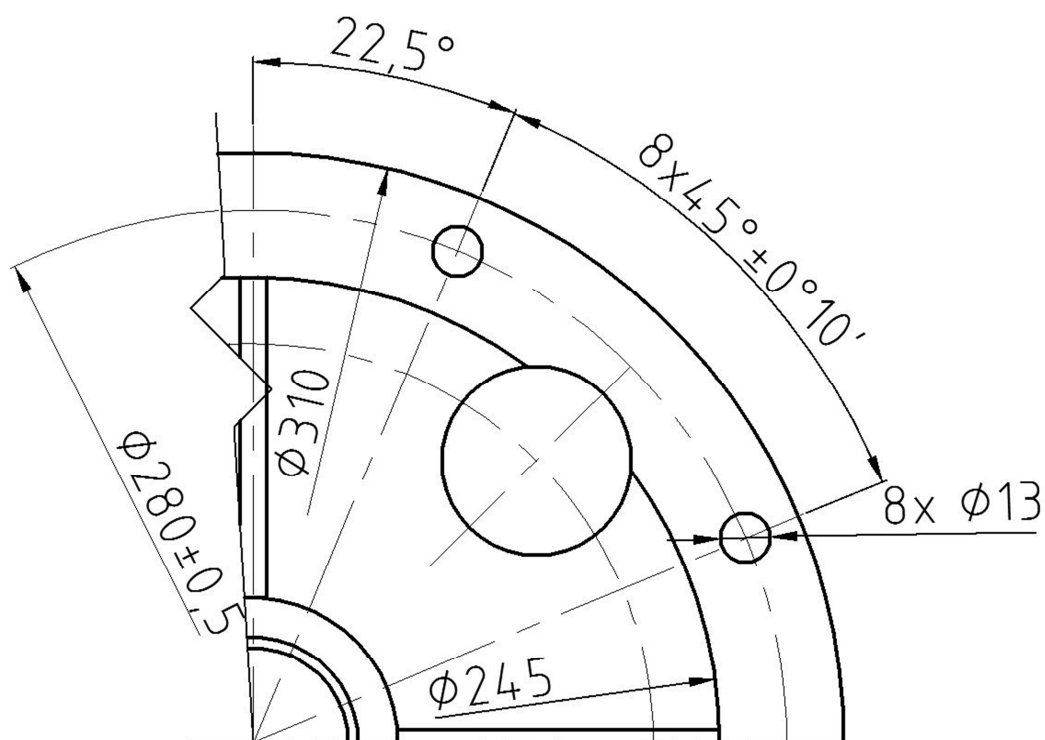
Obr. 5. 1 Upíchnutí stávajícího ozubení

Druhým bodem je příprava dosedací plochy pro věnec, na tloušťku 12 mm do průměru 245 mm ze strany s žebry a sražení hrany  $2 \times 45^\circ$  (obr 5.2).



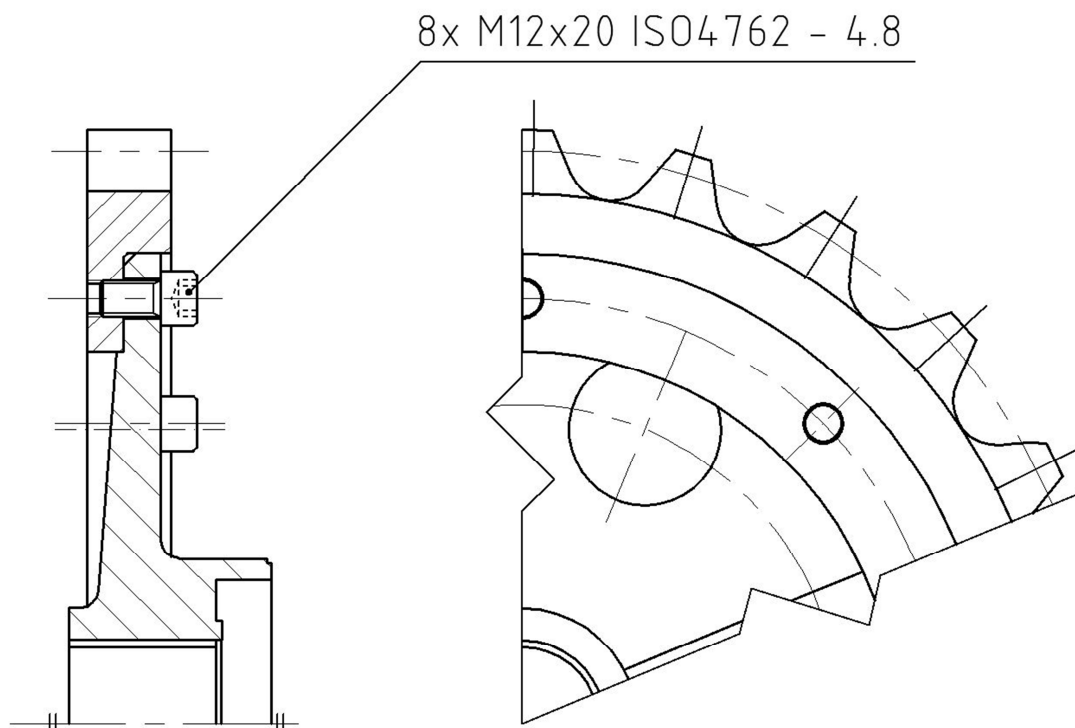
Obr. 5. 2 Tvorba dosedací plochy

V dalším kroku se vyvrtá 8 průchozích děr o průměru 13 mm pro šrouby M12 na roztečné kružnici průměru 280 mm (obr. 5. 3).



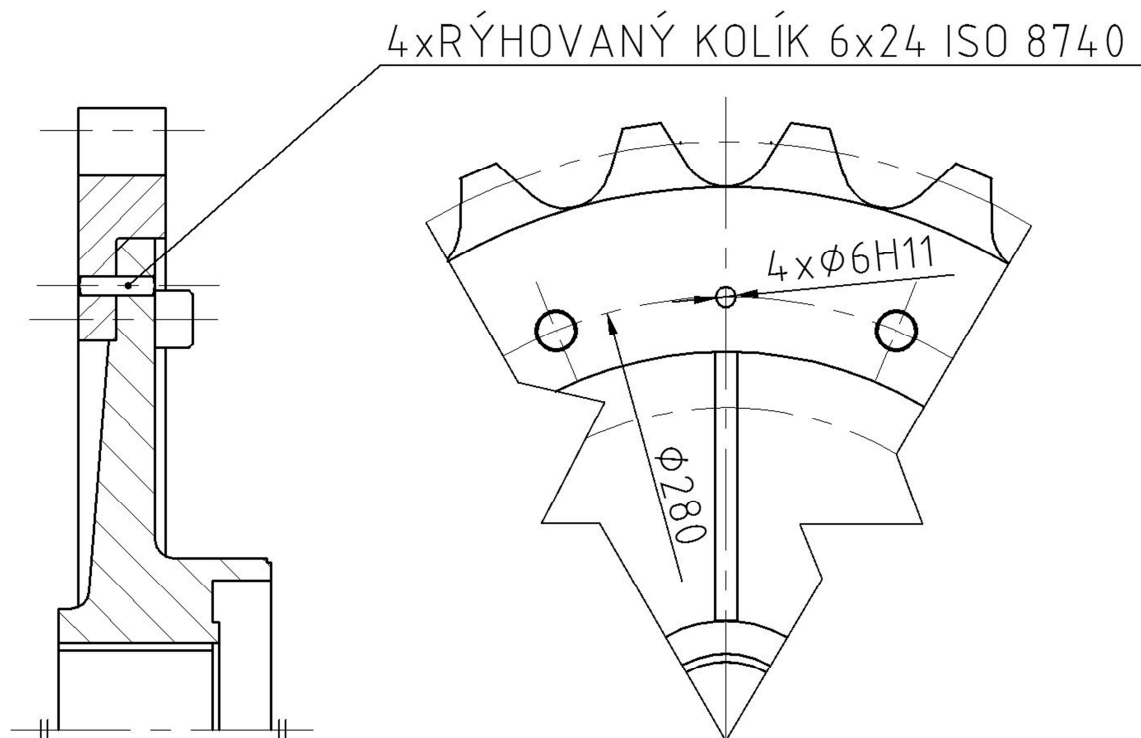
Obr. 5. 3 Vrtání děr pro šrouby

Předposledním krokem je přišroubování již navrženého věnce k opracovanému odlitku (obr 5. 4).



Obr. 5. 4 Sešroubování konstrukce

Posledním bodem je provrtání již sešroubované konstrukce ve 4 bodech, nad žebry, pro rýhované kolíky o průměru 6 mm.

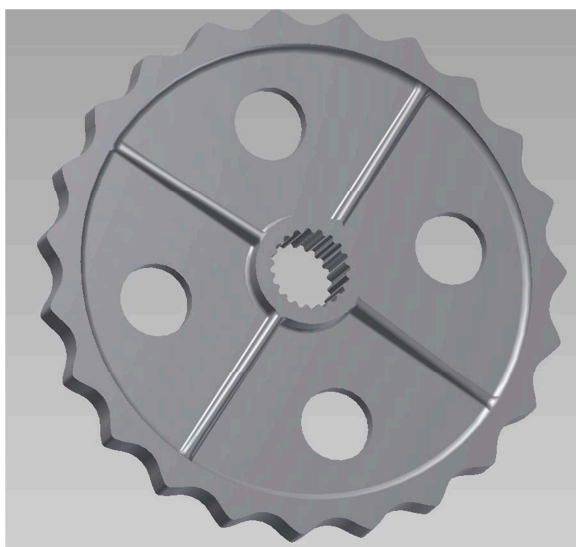


Obr. 5. 5 Umístění kolíků



## 5.2 Výsledek rekonstrukce

Na následujících obrázcích jsou pro porovnání vymodelovány, v programu Autodesk Inventor Professional 2012, dvě řešení, tedy stávající řešení, kolo s opotřebovanými zuby (obr. 5. 6), a nové řešení s přišroubovaným a přikolíkovaným navrženým věncem na opracovaném odlitku (obr. 5. 7).



Obr. 5. 6 Model stávajícího řešení kola



Obr. 5. 7 Model nového řešení kola

Na modelech jde evidentně vidět rozdíl ve výšce zubů a tedy i s tím svázaných rozměrech hlavovou a patní kružnicí. Číselně jsou tyto rozdíly uvedeny v tabulce 5. 1.

Tab. 5. 1 – Porovnání rozměrů

	Stávající řešení	Nové řešení
Hlavová kružnice → $d_a$ [mm]	362	392
Patní kružnice → $d_f$ [mm]	339	349,4

Při výpočtu rozměrů ozubeného věnce (bod 4. 2) byl jako první rozměr vypočítán roztečný průměr kola, který vyšel  $d = 377,8$  mm, vycházelo se z rozteče stávajícího kola, a tedy by tento rozměr měl odpovídat taky roztečné kružnici stávajícího kola. Avšak při porovnání hlavové kružnice opotřebovaného kola, který byl změřen  $d_a = 362$  mm, a vypočítané roztečné kružnice  $d = 377,8$  mm, je zjevné, že by se roztečná kružnice

nacházela nad hlavovou kružnicí. Dále bylo experimentálně přiloženo pouzdro čepu do všech zubových mezer kola, a vždy se nacházela osa pouzdra nad hlavovou kružnicí kola, přičemž pro plynulý a bezchybný chod je potřeba aby se osa pouzdra nacházela v úrovni roztečné kružnice. Tato zjištění potvrzují velké opotřebení ozubení a slouží jako argumenty při obhajobě zvětšení hlavové kružnice o 30 mm a patní kružnice o více jak 10 mm. Toto zvětšení zajistí stálý chod bez přeskakování housenicového pásu.

## 6 Výpočty

V tomto bodě bude zkontrolováno, zda navržené šrouby a kolíky přenesou potřebný přenášený výkon.

### 6.1 Kontrola šroubů

- Vstupní parametry

- Hydraulický výkon pojezdu max.  $P_p = 30 \text{ kW}$
- Hydraulický výkon na jednu stranu pojezdu  $P_{p1} = 15 \text{ kW}$
- Maximální otáčky  $n = 310 \text{ min}^{-1}$
- Průměr roztečné kružnice šroubů  $D_s = 280 \text{ mm}$
- Počet šroubů  $i_s = 8 \text{ ks}$

- Výpočet krouticího momentu

$$M_K = \frac{P_{p1}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} \quad [6.1.1]$$

$$M_K = \frac{15\,000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{310}{60}}$$

$$\underline{M_K = 462,1 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

- Podmínka bezpečného přenosu provozní obvodové síly  $F_{OBV}$  třením

$$\boxed{F_{OBV} \leq F_T} \quad [6.1.2]$$

$$k \cdot F_{OBV} \leq F_0 \cdot f$$

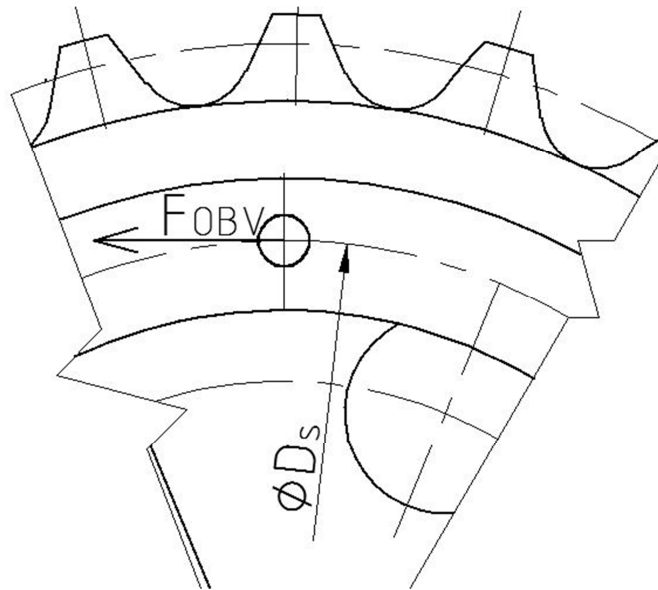
Kde  $k$  [-] je bezpečnost proti prokluzu spojovaných součástí a volí se  $k \geq 1,3$ , zvoleno  $k = 1,7$ . Součinitel smykového tření  $f$  [-] pro styk ocel na ocel zvoleno  $f = 0,15$ .  $F_{OBV}$  je obvodová síla na jeden šroub.

- Výpočet obvodové síly na jeden šroub

$$F_{OBV} = \frac{Mk}{\frac{D_s}{2}} \cdot \frac{1}{i_s} \quad [6.1.3]$$

$$F_{OBV} = \frac{462100}{\frac{280}{2}} \cdot \frac{1}{8}$$

$$\underline{F_{OBV} = 412,6 \text{ N}}$$



Obr. 6. 1 Působení obvodové síly

- Výpočet předepjaté síly

$$F_0 = \frac{k \cdot F_{OBV}}{f} \quad [6.1.4]$$

$$F_0 = \frac{1,7 \cdot 412,6}{0,15}$$

$$F_0 = 4676,1 \text{ N}$$

- Výpočet napětí v šroubu

Šrouby jsou namáhány osovou předepjatou silou  $F_0$  na tah a od utažení silou  $F_Z$  na krut. Příslušná napětí základního namáhání šroubu v tahu  $\sigma_\tau$  a v krutu  $\tau$  určujeme v nebezpečném průřezu šroubu, tedy v jádře závitu (průměr  $d_3$ ) podle vztahů 6. 1. 5 a 6. 1. 8.

Vstupní parametry:

Součinitel smykového tření na závitu (ocel-ocel/mazáno)  $f_Z = 0,12$

Parametry šroubu:	Zvolené šrouby	M12x20 ISO4762 – 4.8
	Rozteč	$P_h = 1,75$ mm
	Velký průměr	$d = 12$ mm
	Střední průměr	$d_2 = 10,863$ mm
	Malý průměr	$d_3 = 9,853$ mm
	Úhel profilu	$\alpha = 60^\circ$
	Mez kluzu	$R_e = 320$ MPa
	Mez pevnosti	$R_m = 400$ MPa

- Namáhání šroubu v tahu

$$\sigma_\tau = \frac{F_0}{\pi \cdot \frac{d_3^2}{4}} \quad [6.1.5]$$

$$\sigma_\tau = \frac{4676,1}{\pi \cdot \frac{9,853^2}{4}}$$

$$\underline{\sigma_\tau = 61,3 \text{ MPa}}$$

$$\varphi' \rightarrow \text{Třecí úhel} \dots \varphi' = \operatorname{arctg} \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad [6.1.6]$$

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \frac{0,12}{\cos \frac{60}{2}}$$

$$\underline{\varphi' = 7,889^\circ}$$

$$\psi \rightarrow \text{Úhel stoupání závitu} \dots \psi = \operatorname{arctg} \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} \quad [6.1.7]$$

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{1,75}{\pi \cdot 10,863}$$

$$\underline{\psi = 2,935^\circ}$$

- Namáhání šroubu v krutu

$$\tau = \frac{M_K}{W_K} \quad [6.1.8]$$

$$\tau = \frac{F_z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3^3}$$

$$\tau = \frac{F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3^3}$$

$$\tau = \frac{4676,1 \cdot \operatorname{tg}(2,935 + 7,889) \cdot \frac{10,863}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot 9,853^3}$$

$$\underline{\tau = 25,9 \text{ MPa}}$$

- Výpočet Guestovy pevnostní hypotézy

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2)} \quad [6.1.9]$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{(61,3^2 + 4 \cdot 25,9^2)}$$

$$\underline{\sigma_{red} = 80,3 \text{ Mpa}}$$

- Kontrola pevnostní podmínky

Součinitel bezpečnosti šroubu volím  $k_s = 2$

$$\sigma_{red} < \frac{R_e}{k_s} \quad [6.1.10]$$

$$80,3 < \frac{320}{2}$$

$$\underline{80,3 \text{ MPa} < 160 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6. 2 Kontrola kolíků

Vstupní parametry:

Zvolené kolíky	RÝHOVANÝ KOLÍK 6 x 24 ISO 8740	
Počet kolíků	$i_k = 4$	
Parametry kolíku:	Průměr kolíku	$d_k = 6 \text{ mm}$
	Tolerance průměru $d_l$	h11
	Materiál kolíků	11 500
	Dovolené napětí na střih	$\tau_{DS} = 70 \text{ MPa}$
	Dovolené napětí na otláčení	$p_D = 100 \text{ MPa}$

- Kontrola na střih

$F'_{OBV}$  ... Při výpočtu  $F_{OBV}$  zohledněn počet šroubů  $i_s = 8$  proto...  $F'_{OBV} = 8 \cdot F_{OBV}$

$$F'_{OBV} = 8 \cdot 412,6$$

$$\underline{F'_{OBV} = 3300,8 \text{ N}}$$

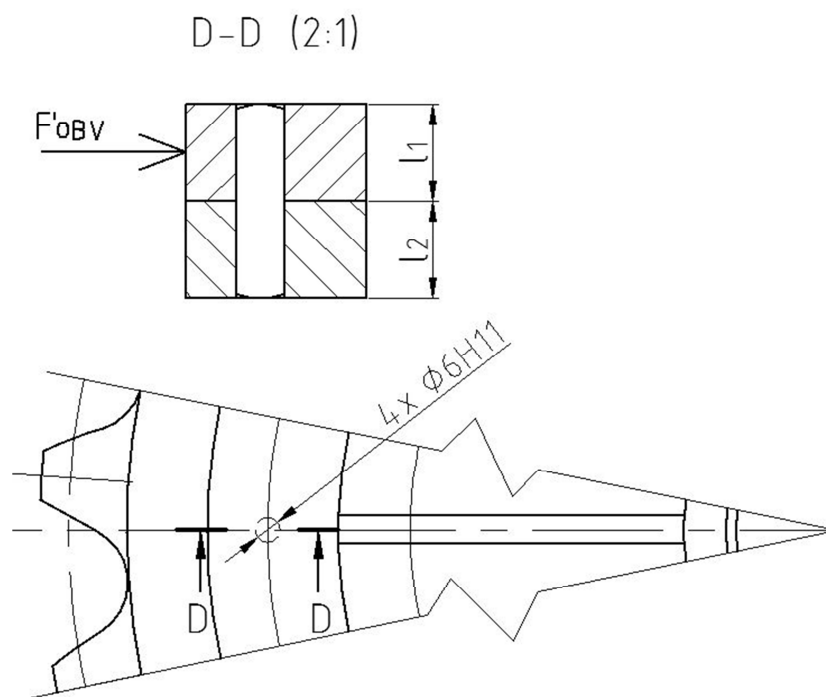
$$\tau = \frac{F'_{OBV}}{i_k \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_k}{2}\right)^2} \leq \tau_{DS} \quad [6.2.1]$$

$$\frac{3300,8}{4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{6}{2}\right)^2} \leq \tau_{DS}$$

$$\underline{29,2 \text{ MPa} \leq 70 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$



- Kontrola na otláčení



Obr. 6. 2 Kontrola na otláčení

$$l_1 = l_2 = l = 12 \text{ mm}$$

$$p = \frac{F'_{OBV}}{d \cdot l \cdot i_k} \leq p_D \quad [6.2.2]$$

$$\frac{3300,8}{6 \cdot 12 \cdot 4} \leq p_D$$

$$\underline{11,5 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 7 Závěr

Bakalářská práce byla vypracována na základě požadavků provozu minirýpadla.

V úvodu je zmíněno, kde se mohou housenicové pásy vyskytnout, při jakých aplikacích se používají a které světové firmy se zabývají výrobou housenicových podvozků jako kompletů či jejich jednotlivých částí. Dále je rozebráno z jakého stroje, kolo, které je hlavním jmenovatelem této práce, pochází, kdy byl stroj vyroben, a jak jsou části housenicového pásu a kolo poškozeny.

Hlavní podstata rekonstrukce je provedena ve 4. a 5. kapitole. Změřil jsem zde rozměry potřebné pro návrh nového ozubení, pomocí normy ČSN 01 4811, tedy rozteč článku housenicového pásu, průměr díry, kterou prochází pouzdro a průměr díry, kterou prochází čep. Ze změřených hodnot jsem spočítal rozteč ozubeného kola. Dále jsem spočítal nové rozměry ozubeného věnce (poloměr dna zubní mezery, poloměr boku zubu, úhel otevření, průměr patní kružnice a průměr hlavové kružnice). V kapitole páté se již zabývám postupem rekonstrukce. Technologický postup, od upíchnutí starého ozubení až po sešroubování a zkolíkovaní nového věnce a opracovaného starého kola, je zde popsáno a na schématech zobrazeno jak se bude při rekonstrukci postupovat. Na závěr kapitoly jsou obě řešení porovnána.

V šesté kapitole jsou navrženy a zkontrolovány šrouby a kolíky tak aby přenesly potřebný přenášený výkon. Navrhl jsem 8 šroubů M12 x 20 ISO 4762 – 4. 8. Jedná se o šrouby s válcovou hlavou a s vnitřním šestihranem, se závitem až k hlavě. Dále jsem navrhl 4 rýhované kolíky 6 x 24 ISO 8740, kolíky slouží k vymezení vzájemné polohy dvou součástí, kterou by nemusely samotné šrouby zajistit při otřesech, když se bude minirýpadlo pohybovat po nerovných terénech. Všechny navržené spojovací součásti bezpečně vyhovují.

## Literatura

- [1] ČSN 01 4811. *Řetězová kola pro hnací válečkové a pouzdrové řetězy: Metody výpočtu*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1982. 8 s.
- [2] ROUŠAL, Václav. *Válečkové řetězy a řetězová kola*. Druhé, přepracované vydání. Praha: SNTL, 1972. 172 s. ISBN 18797-2322/72.
- [3] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 91 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [4] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006, xiv, 914 s. ISBN 80-736-1033-7.
- [5] MYNÁŘ, Vladimír. *Části strojů. Spojovací části*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1975. 275 s.
- [6] ŘEŘÁBEK A. *Stavba a provoz strojů pro školu a praxi: Strojní součásti 1*. Praha: Nakladatelství SCIENTIA, 2006, 214 s. ISBN 80-86960-02-1.
- [7] Berco S.p.A. *Berco Portal* [online]. © 2011 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.berco.com>>.
- [8] GrowJOB institute. *Renomag* [online]. © 2005 - 2013 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.renomag.cz>>.
- [9] *Titan- Intertractor* [online]. © 5th Sep 2012 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.titan-intertractor.com>>.
- [10] Havelka, R. *Valka.cz* [online]. © 1998 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://forum.valka.cz/>>.
- [11] *Hornicky-klub* [online]. © 2007 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.hornicky-klub.info/>>.
- [12] ZTS-OTS, a.s., *Dubnica nad Váhom* [online]. © 2006 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.ztsots.sk/>>.

[13] FAMFULÍK, J., J. MÍKOVÁ a R. KRZYŽANEK. VŠB- TU OSTRAVA. *Teorie údržby* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.elearn.vsb.cz/>>.

**Přílohy**

1. Výkres sestavy-	ZAH0020-BC-S001
2. Výkres ozubeného věnce-	ZAH0020-BC-D001
3. Výkres článku housenice-	ZAH0020-BC-D002
4. Výkres čepu housenice-	ZAH0020-BC-D003
5. Výkres pouzdra housenice-	ZAH0020-BC-D004
6. CD s obsahem BP-	Bakalářská práce ZAH0020-2013